# Лабораторная работа

# "Определение длин волн излучения источников дискретного и непрерывного спектров"

**Введение**

*Цель работы:* градуировка спектроскопа по известному спектру неона, определение длин волн в спектре паров ртути и границ видимого спектра лампы накаливания.

*Приборы и принадлежности:* спектроскоп, неоновая лампа, ртутная лампа, лампа накаливания.

## 1. Теория метода

При переходе электронов из возбуждённого состояния с энергией E2 в состояние с меньшей энергией E1 атом излучает фотон частоты ω, энергия которого равна

. (1)



где = 1,05 · 10-34 Дж · с – постоянная Планка.



Совокупность частот испускаемого при этом возбуждёнными атомами излучения называется спектром.

В изолированных атомах энергетические уровни электронов имеют дискретную последовательность значений. Поэтому спектр излучения атома оказывается линейчатым. Такой спектр состоит из отдельных частот, образующих спектральные линии. В разреженном атомарном газе частицы слабо взаимодействуют друг с другом и поэтому сохраняют структуру энергетических уровней изолированных атомов. Этим условиям удовлетворяют, например, пары ртути и других металлов или инертные газы при нормальном или пониженном давлении. Такие вещества являются источниками линейчатых спектров.

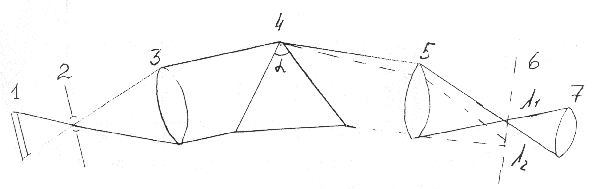
При высоких температурах и больших давлениях из-за сильного взаимодействия между атомами их энергетические уровни расширяются и перекрываются. Примером такого источника служит раскалённый газ солнечной атмосферы, который испускает сплошной спектр.

Газы, состоящие из двух- и многоатомных молекул, при свечении дают полосатый спектр. Образование молекул из атомов сопровождается расщеплением энергетических уровней на полосы: вращательные, колебательно-вращательные и электронно-колебательные.

В твёрдых и жидких телах взаимодействие атомов приводит к расщеплению электронных уровней и образованию энергетических зон. Последовательность значений энергии электрона в зоне практически непрерывна. Поэтому переходы между зонами создают по существу сплошной спектр частот, который наблюдается при излучении нагретого тела, например, такого, как нить лампы накаливания.

Для изучения спектрального состава излучения необходимо осуществить пространственное разделение света по частотам (длинам волн), т.е. – спектральное разложение. Этим целям служат спектральные приборы – спектроскопы или спектографы. Если спектральный прибор позволяет проводить количественные измерения интенсивности излучения, он называется спектрометром. В большинстве спектральных приборов используется либо явление дисперсии, т.е. зависимость показателя преломления вещества от частоты или длины волны излучения, либо дифракционной решётки.

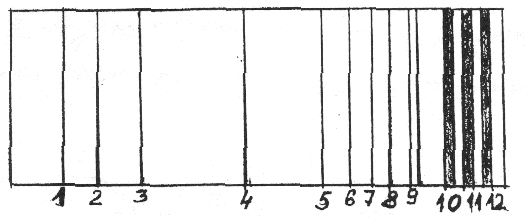
В данной работе для разложения света в спектр применён спектроскоп со стеклянной призмой, т.е. используется явление дисперсии. Схема спектроскопа приведена на рис. 1.



### Рис. 1. Схема спектроскопа: 1 – источник света, 2 – входная щель, 3 – коллиматорная линза, 4 – призма, 5 – объектив, фокальная плоскость, 7 – окуляр

Свет источника освещает узкую входную щель трубы спектроскопа, расположенную параллельно ребру призму при преломляющем угле α. Щель помещена в фокальной плоскости коллиматорной линзы. Поэтому в плоскости преломляющего угла на призму падает параллельный пучок света и создаются одинаковые начальные условия преломления лучей разного цвета, т.е. волн разной частоты. После преломления в призме в объектив попадает уже несколько световых пучков, идущих под разными углами в соответствии с набором частот в спектре светящегося источника. Объектив собирает эти пучки в различных участках фокальной плоскости: таким образом, каждый пучок формирует изображение входной щели в лучах какого-либо одного цвета.

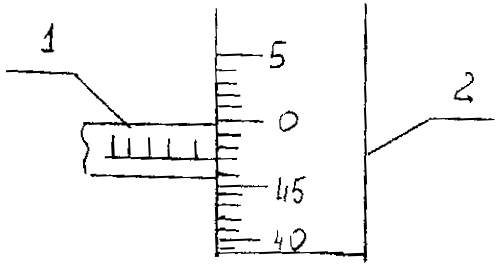
В случае дискретного набора частот в излучении источника изображения щели представляет собой линии разного цвета, отдельные друг от друга тёмными промежутками. Это – линейчатый спектр, рис. 2.



### Рис. 2. Линейчатый спектр излучения неона: 1,2,…, 12 – изображение спектральных линий, длины волны которых приведены в табл. 1

Если источник излучает свет, в котором интенсивность непрерывно меняется с частотой, изображения щели разных цветов частично перекрываются и создают световое пятно, цвет которого непрерывно меняется в горизонтальном направлении от тёмно-фиолетового до тёмно-красного. Так выглядит сплошной спектр.

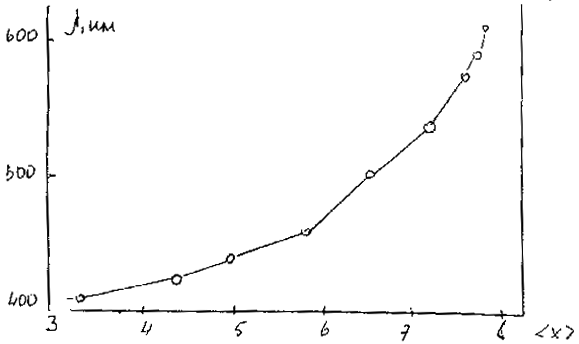
Изображение спектра рассматривают в окуляр спектроскопа, который вместе с объективом составляет зрительную трубу. Чем уже входная щель, тем меньше ширина её изображения, тем точнее можно определить её положение в фокальной плоскости. Но при этом меньше её интенсивность. Поэтому, если линия «слабая», то при узкой входной щели её можно не заметить. В центре поля зрения окуляра расположена индикаторная нить, которая служит для определения положения спектральной линии в фокальной плоскости. У спектроскопа имеется устройство вращения зрительной трубы вокруг вертикальной оси, снабжённое отсчётным механизмом. С помощью этого устройства ось зрительной трубы совмещают с направлениями световых пучков разного цвета. В этом случае изображение спектральной линии совпадает с индикаторной нитью, а положение зрительной трубы фиксируют при помощи отсчётного устройства, рис. 3.



### Рис. 3. Схема отсчётного устройства спектроскопа: 1 – степень с неподвижной шкалой, 2 – барабан микрометрического винта с нониусной шкалой

Оно состоит из неподвижной шкалы, нанесённой на цилиндрический стержень, и барабана, который связан с микрометрическим винтом, перемещающимся вдоль стержня при вращении. Один оборот барабана соответствует его перемещению по неподвижному стержню на одно деление шкалы последнего. Поверхность барабана разбита на 50 делений и представляет собой нониусную шкалу. Одно деление этой шкалы соответствует 0,02 деления шкалы неподвижного стержня. Показанное на рис. 3 положение барабана соответствует отсчёту 3,94. При отсчёте по неподвижной шкале получают целое число делений, а по нониусной шкале после удвоения её показаний – сотые доли.

Для изучения неизвестного спектра необходимо предварительно отградуировать спектроскоп. Градуировка заключается в установлении соответствия между известной длиной волны спектральных линий и делениями шкалы отсчётного устройства. В результате получают график, который позволяет определять длины волн неизвестных спектральных линий. Пример такого графика приведён на рис. 4.



### Рис. 4. Пример градуировочного графика: λ – длина волны света, <x> – показания отсчетного устройства

В данной работе градуировка производится по спектру неона.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Посмотрите в окуляр спектроскопа. Вращая оправу окуляра, добейтесь вертикального положения и чёткого изображения индикаторной нити. Включите неоновую лампу.

2. Расположите трубу спектроскопа сбоку от лампы и наведите входную щель трубы на межэлектродный промежуток. В этом месте яркость свечения наибольшая.

3. Градуировку начинайте с фиолетовой части спектра. Вращая барабан отсчётного устройства и одновременно вращая тубус окуляра вдоль оси зрительной трубы, добейтесь чёткого изображения первой фиолетовой линии и совмещения её центра с индикаторной нитью. Сделайте отсчёт <*x*> по шкале. Проведите два независимых отсчёта (*x*1 и *x*2). Результаты запишите в табл. 1.

4. Вращая барабан дальше, добейтесь совмещения индикаторной нити со второй фиолетовой линией в спектре неона; значения двух измерений *x*1 и *x*2 запишите в табл. 1.

5. Аналогичные операции проделайте для каждой линии, видимой в спектре неона. Всего их должно быть 12. Расположение линий показано на рис. 2: большей толщине линии на рисунке соответствует большая яркость в спектре. Переходя к каждой следующей линии, корректируйте фокусировку зрительной трубы, перемещая тубус окуляра.

6. Выключите неоновую лампу, включите ртутную лампу.

7. Наведите спектроскоп на ртутную лампу. Поступая аналогично п.п. 3–5, определите отсчёты, соответствующие каждой спектральной линии в спектре паров ртути (измерения начинайте с фиолетовой части спектра). Всего в изучаемой части спектра паров ртути можно увидеть 5 линий. Данные запишите в табл. 2, укажите цвет линий.

8. Выключите ртутную лампу. Включите лампу накаливания, наведите на неё спектроскоп.

9. Определите отсчёты, соответствующие фиолетовой и красной границам видимого спектра «белого» цвета; данные измерений также запишите в табл. 2.

## 3. Обработка опытных данных

1. По результатам измерений табл. 1 и 2 вычислите средние значения отсчётов <*x*> и занесите в соответствующие строки этих таблиц.

Постройте градуировочный график зависимости длины волны (в нм) от средней величины отсчёта <*x*>. График следует строить карандашом на миллиметровой бумаге. Рекомендуется следующий масштаб: 10 мм по оси ординат соответствует 20 нм, а по оси абсцисс – 0,5 большого деления шкалы. На осях графика обозначайте только «круглые» цифры: например, 400, 500 нм и т.д.; 4, 5, 6 делений.

Должна получиться гладкая кривая.

2. Пользуясь градуировочным графиком и полученными значениями отсчётов <*x*>, приведёнными в табл. 2, найдите значения неизвестных длин спектра паров ртути и границ видимого спектра лампы накаливания. Полученные результаты запишите в табл. 2 (нижняя строчка).

3. Оцените погрешность определения длин волн по градуировочном графику. Если величина аргумента определяется с погрешностью Δλ, то погрешность определения функции Δλ можно найти из выражения

, (2)



Производную найдём методом численного дифференцирования. Этот метод основан на том, что на небольшом участие кривой касательную можно заменить хордой. Тогда



, (3)



где и – средние отсчёты, соответствующие длинам волн λ1 и λ2.



Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спектральная линия | | | отсчеты | | | Δλ, нм |
| № | цвет | длина λ, нм | x1 | x2 | <x> |
| 1 | фиолетовый | 417 | 3,28 | 3,32 | 3,3 | 33,4 |
| 2 | 425 | 3,4 | 3,44 | 3,42 | 1,53 |
| 3 | 433 | 3,66 | 3,7 | 3,68 | 1,81 |
| 4 | синий | 454 | 4,28 | 4,24 | 4,26 | 3,5 |
| 5 | голубой | 479 | 4,62 | 4,6 | 4,61 | 4,6 |
| 6 | зеленый | 515 | 5,24 | 5,28 | 5,26 | 0,3 |
| 7 | 522 | 6,44 | 6,4 | 6,42 | 3,55 |
| 8 | 527 | 6,48 | 6,5 | 6,49 | 5 |
| 9 | 540 | 6,6 | 6,64 | 6,62 | 22,5 |
| 10 | желтый | 585 | 6,7 | 6,74 | 6,72 | 18,5 |
| 11 | оранжевый | 622 | 6,84 | 6,8 | 6,82 | 11 |
| 12 | красный | 660 | 7 | 6,98 | 6,99 | 15,3 |

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спектральный источник | Ртутная лампа | | | | | Лампа накаливания | |
| цвет линии | фиол | син | зел | оран | крас | фиолет | красн |
| x1 | 3,54 | 4,94 | 5,76 | 6,26 | 6,66 | 3,74 | 6,92 |
| x2 | 3,5 | 4,9 | 5,8 | 6,3 | 6,62 | 3,78 | 6,96 |
| <x> | 3,52 | 4,92 | 5,78 | 6,28 | 6,64 | 3,76 | 6,94 |
| λ, нм | 418 | 476 | 520 | 545 | 582 | 434 | 604 |

Оценку погрешности проведите для фиолетового и красного участков градуировочной кривой, взяв в качестве λ1 и λ2 линии 417 и 425 нм в фиолетовой и 622 и 660 нм в красных частях спектра. Δ*x* можно принять равным 0,05.

1) нм



, при Δ*x* = 0,05



66,7 · 0,05 = 3,34 нм



2) нм



30,76 · 0,05 = 1,538 нм



3) нм



36,2 · 0,05 = 1,81 нм



4) нм



71,4 · 0,05 = 3,5 нм



5) нм



93,8 · 0,05 = 4,6 нм



6) нм



6 · 0,05 = 0,3 нм



7) нм



71 · 0,05 = 3,55 нм



8) нм



100 · 0,05 = 5 нм



9) нм



450 · 0,05 = 22,5 нм



10) нм



370 · 0,05 = 18,5 нм



11) нм



223 · 0,05 = 11 нм



## 4. Контрольные вопросы

1. Для чего на входе спектроскопа стоит щель?

Свет источника освещает *узкую входную щель* трубы спектроскопа, расположенную параллельно ребру призму при преломляющем угле α. Исследуемое *излучение поступает вначале в часть прибора*, называемую *коллиматором*. **Коллиматор** представляет собой трубку, на одном конце которой имеется ширма с узкой щелью, а на другом собирающая линза. Щель находится на фокусном расстоянии от линзы. Поэтому расходящийся *световой пучок, попадающий на линзу из щели, выходит из неё параллельным пучком и падает на призму*. В плоскости преломляющего угла на призму падает параллельный пучок света, и создаются одинаковые начальные условия преломления лучей разного цвета, то есть волны разной частоты. Из призмы выходят параллельные лучи, не совпадающие по направлению. Они падают на другую линзу. На фокусном расстоянии этой линзы располагается экран. Эта линза фокусирует параллельные пучки лучей на экране, и вместо одного изображения щели получается целый ряд изображений. Каждой частоте соответствует свое изображение. Все эти изображения вместе и образуют спектр.

2. Зачем в спектроскопе призма, объектив, окуляр?

При попадании на *призму*, в плоскости преломляющего угла, параллельный пучок света преломляется. После преломления в призме в объектив попадает уже несколько световых пучков, идущих под разными углами. *Объе6ктив* собирает эти пучки в различных участках фокальной плоскости, при этом каждый пучок формирует изображение входной щели в лучах какого-либо одного цвета. Изображение спектра рассматривают в *окуляр* спектроскопа, который вместе с объективом составляет зрительную трубку.

3. Зачем градуируют спектроскоп?

Спектроскоп предварительно *градуируют* для изучения неизвестного спектра. Градуировка заключается в установлении *соответствия между известной длиной волны спектральных линий и делениями шкалы отсчётного устройства*. В результате получают график, который позволяет определять длины волн неизвестных спектральных линий.

4. Что такое спектр? Почему твёрдые тела и жидкости дают сплошной спектр, а газы – линейчатый или полосатый?

*Совокупность частот испускаемого* при этом возбуждёнными *атомами излучения* называется спектром.

В изолированных атомах энергетические уровни электронов имеют дискретную последовательность значений. Поэтому спектр излучения атома оказывается *линейчатым*. Такой спектр состоит из отдельных частот, образующих спектральные линии. В разреженном атомарном газе частицы слабо взаимодействуют друг с другом и поэтому сохраняют структуру энергетических уровней изолированных атомов. Этим условиям удовлетворяют, например, пары ртути и других металлов или инертные газы при нормальном или пониженном давлении. Такие вещества являются источниками линейчатых спектров.

**Газы**, состоящие из двух- и многоатомных молекул, при свечении дают *полосатый спектр*. Образование молекул из атомов сопровождается расщеплением энергетических уровней на полосы: вращательные, колебательно-вращательные и электронно-колебательные.

В твёрдых и жидких телах взаимодействие атомов приводит к расщеплению электронных уровней и образованию энергетических зон. Последовательность значений энергии электрона в зоне практически непрерывна. Поэтому переходы между зонами создают по существу *сплошной спектр* частот, который наблюдается при излучении нагретого тела, например, такого, как нить лампы накаливания.

5. Каким способом в лабораторной работе возбуждается излучение неоновой и ртутной ламп и лампы накаливания? Что при этом происходит с атомами вещества?

*Лампа накаливания* является тепловым источником с тепловым излучением, при котором потери атомами энергии на излучение света компенсируются за счет энергии теплового движения атомов (или молекул) излучающего тела. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся атомы. При столкновении быстрых атомов (или молекул) друг с другом часть их кинетические энергии превращаются в энергию возбуждения атомов, которые затем излучают свет.

**В неоновой лампе** используется принцип *электролюминесценции*. При разряде в газах электрическое поле сообщает электронам большую энергию, часть которой идет на возбуждение атомов (отдают энергию в виде световых волн), поэтому разряд в газе сопровождается свечением.

Принцип действия «классической» **ртутной лампы**: ультрафиолетовое излучение разряда вызывает свечение люминофора, в результате чего получается белый цвет нужной цветности и цветопередачи.